

断陷湖盆碳酸盐与陆源碎屑混合沉积

——以东营凹陷金家地区古近系沙河街组第四段上亚段为例

张金亮^{1,2)}, 司学强¹⁾

1) 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东青岛, 266100;

2) 山东省油气勘探开发工程技术研究中心, 山东青岛, 266510

内容提要:混合沉积是一种特殊的沉积类型,研究程度较低。金家地区处于东营凹陷的斜坡带,该区古近系沙河街组第四段上亚段发育了碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积,研究认为该混合沉积为古湖泊内的混合沉积,可划分为混积砂滩亚相、混积砂坝亚相及半深湖混积亚相,混合沉积物既包括同层混合沉积物(灰质砂岩、砂质灰岩、泥质灰岩等),又包括互层混合沉积物(砂岩与颗粒灰岩互层沉积等),研究区的混合沉积受当时构造运动、碎屑物质供给量、湖平面的变化等诸多因素控制。

关键词:东营凹陷;混合沉积;陆源碎屑;碳酸盐;断陷湖盆

长期以来陆源碎屑沉积和碳酸盐沉积作为两大沉积体系,沉积学家已经在沉积相、沉积环境方面做了深入研究,而对大量存在的碳酸盐和陆源碎屑的混合沉积研究较少,这是因为人们受碳酸盐主要产于清水环境,浑水会抑制碳酸盐生成的思想束缚。事实上,碳酸盐和陆源碎屑的混合沉积无论是在现代还是古代的沉积中都是颇为常见的,从陆地到海洋、从浅水到深水都有广泛的分布,并受多种因素控制,具有复杂的沉积模式,因而其研究难度比单一的碳酸盐或陆源碎屑沉积体系大。混合沉积体系的研究对于了解沉积环境的沉积动力学、海(湖)平面变化以及区域沉降速率、甚至古气候和构造对沉积的控制作用等有着特殊的意义(江茂生等,1995)。

近20年来,国内外学者主要对海陆过渡带、海滨岸带、陆棚环境等海相混合沉积进行研究,研究表明构造作用、气候条件、物源、海平面变化、海水进退等因素控制了混合沉积的规模和类型(Mount,1984;张锦泉等,1989;蔡进功等,1994;Aqrabi,1996;江茂生等,1996;Halfar et al.,2004;Parcell and Williams,2004;郭福生,2004)。但陆相湖盆内的混合沉积的报道较少,本文以东营凹陷金家地区古近系沙河街组第四段上亚段(后简称沙四上亚段)混合沉积为例,对陆相湖泊混合沉积的特征、分布模式、形成机制等进行了论述。

1 地质背景

研究区位于东营凹陷次级构造博兴洼陷的南斜坡,向南过渡为鲁西隆起,东西分别被石村大断层和高青大断层所控制(图1)。南斜坡带为一长期继承发育的构造单元,受基底斜坡岩层控制,古近系沉积向上倾方向层层减薄,或者超覆,或者退覆,或者剥蚀,构造带“三线”(构造走向线,断层走向线,超覆尖灭线)近于平行,构造格局相对比较简单,但它是多种油气藏共同发育的构造单元,是圈闭形成和油气聚集的有利场所。南斜坡地区古近系地层由下到上分别是孔店组、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段和东营组,目前沙一段地层探明石油地质储量 $3033 \times 10^4 \text{t}$,而沙二段以下层位研究较少。探井资料统计表明,南斜坡沙四上亚段主要为灰色—灰绿色泥岩、浅灰色砂岩与泥灰岩、生物碎屑灰岩、鲕状灰岩、灰质页岩的混合沉积。

2 混合沉积特征

混合沉积物是指陆源碎屑与碳酸盐(包括异化颗粒等)在沉积上的混合。混合沉积可分为狭义的和广义的,狭义的是指陆源碎屑与碳酸盐组分的混合(在同一岩层内),而广义的混合沉积则包括了狭义的和陆源碎屑与碳酸盐层构成交替互层或夹层的混合(沙庆安,2001)。研究区内既有层内的混合沉

积物又有互层的混合沉积物。

2.1 同一岩层内碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积

1984年 Mount 依据陆源碎屑颗粒、陆源碎屑泥、碳酸盐颗粒和灰泥四个端元组分,提出了狭义混合沉积物的成分结构分类方案,凡含10%以上陆源碎屑的碳酸盐岩(或含10%以上碳酸盐岩的碎屑岩)都属混合沉积物(Mount,1984)。据16口探井岩性资料统计,本区结构混积物主要为灰色、灰绿色灰质细砂岩,灰色砂质灰岩、泥灰岩,含生物碎屑砂岩等,其中碳酸盐含量一般达20%~70%不等,结构混积物可占地层厚度的33%。

2.1.1 灰质砂岩—砂质灰岩

金家地区沙四上亚段砂岩和碳酸盐结构混合沉积物普遍发育,其中灰质砂岩的含量要高于砂质灰岩,颜色均以灰色、灰绿色为主。灰质砂岩全岩X衍射分析表明,石英最高含量30%~45%,长石含量10%~20%,方解石含量20%~35%,其他粘土矿物5%。粘土矿物中蒙皂石含量可达50%,这是因为金家地区沙四上亚段地层埋藏较浅,蒙皂石大量发育。砂质灰岩中方解石含量可达50%~70%,碎屑物质含量5%~30%,石英颗粒分选中等偏好。鲕粒在砂质灰岩中常见,鲕粒的核心常常为石英和长石陆源碎屑,而其形成的同心圈层一般较薄(图版I-1)。这两种混合沉积物一般发育在浅湖环境,波浪和湖流的扰动强烈,缺少碎屑物质的注入,碳酸盐易于形成。

2.1.2 泥质灰岩

在沙四上亚段泥质灰岩中的方解石一般为隐晶—微晶结构,泥质成分由粘土矿物组成,偶见石英颗粒,岩石多为绿灰—灰绿色,水平层理。泥质灰岩一般产于水动力条件较弱的静水环境中,在研究区一般产于半深湖区(图版I-2)。

2.1.3 含生物碎屑的砂岩

岩心观察发现,本区砂岩层中常含有大量生物碎屑,生物碎屑以双壳类、腹足类及腕足类为主,其中双壳类化石个体差别较大,保存相对完整,而且可见完整纹饰;腹足类化石个体匀称,保存完整。生物碎屑有时相对均匀的分布在整个砂岩层中,有时集中分布在砂岩层的某一部位,集中分布厚度10~20cm不等(图版I-3)。从岩石类型及化石组合方面可反映出沙四上亚段沉积时期水体较浅,水流扰动较强。

2.2 碳酸盐与陆源碎屑的互层混合沉积

2.2.1 砂岩与颗粒灰岩的互层沉积

砂岩与颗粒灰岩的互层混合沉积多出现在金家地区沙四上亚段的上部,互层混合沉积物砂岩层厚3~5m不等,颗粒灰岩层厚度一般0.5~1.5m,最厚可达2m。砂岩多为灰绿色、灰色细砂岩,平行层理、斜层理较发育;灰色的颗粒灰岩与砂岩层呈突变接触(图版I-4),镜下显示灰岩颗粒类型有内碎屑、核形石、生物碎屑、鲕粒等,此处颗粒灰岩一般以颗粒类型多样,一种颗粒为主,其他颗粒含量较少的复合

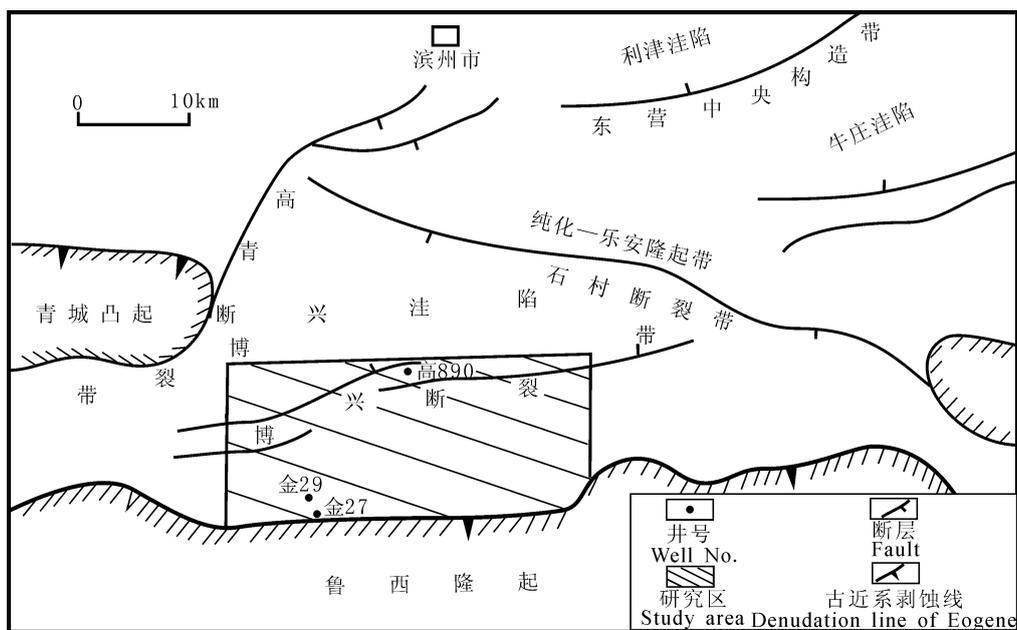


图1 博兴洼陷位置图

Fig. 1 Sketch map showing structural locations of the Boxing Sag

颗粒组分组合为特征。研究发现该区颗粒灰岩可分为以鲕粒为主和以生物碎屑为主两种。以鲕粒为主的颗粒灰岩鲕粒含量大于 50%，具鲕状结构(图版 I-5)。鲕粒核心一般为石英或长石碎屑物质，鲕粒同心层较少，圆度和分选度较差，一般是在水动力条件不是很强的环境下形成的；以生物碎屑为主的颗粒灰岩含 50% 以上生物化石，生物颗粒多数为不完整的介壳碎片或介形虫遗体(图版 I-6)，一般形成于动荡的强水动力条件之下。

2.2.2 泥晶灰岩与泥岩的互层沉积

泥晶灰岩主要由泥晶方解石组成，浅灰或灰黑色，具隐晶结构，致密块状，厚度从几十厘米到一米不等，形成于水动力条件很弱的环境中。泥岩一般为灰色或绿灰色，水平层理，说明沉积环境属于浅湖—半深湖。

2.2.3 颗粒灰岩与含生物碎屑砂岩的互层沉积

互层混合沉积中颗粒灰岩厚约 1m，颗粒之间的充填物以微晶方解石为主，亮晶方解石胶结物一般不发育。含生物碎屑的砂岩层以灰色细砂为主，厚 3~5m 不等，常发育斜层理，或低角度交错层理，生物碎屑主要为双壳类、腹足类化石，双壳类化石个体大小不一，腹足类化石个体匀称，部分破碎。

3 混合沉积模式

对于混合沉积的模式、类型前人曾进行研究，特别是海相的混合沉积作用，Mount 总结了有关混合沉积的研究成果，划分了四种浅海陆架混合沉积(狭义)作用类型：间断混合、相混合、原地混合、母

源混合(Mount, 1984)。张雄华(2000)则将其分为五种类型：事件突变沉积混合、相缘渐变沉积混合、原地沉积混合、侵蚀再沉积混合及岩溶穿插再沉积混合。李祥辉等(1997)在研究中国南方上扬子地区早一中泥盆世的混合沉积时把混合沉积分为混积滨岸相和混积陆棚相。古代湖泊混合沉积发现实例较少。经详细的岩心观察结合当时的地质背景研究，发现金家地区的混合沉积为没有物源注入的湖泊滨岸混合沉积模式。据环境、组成特征差异可进一步识别出混积沙滩亚相、混积砂坝亚相、半深湖混积亚相三种(图 2)。

3.1 混积沙滩亚相

混积沙滩亚相位于滨湖区，主要是发育为含生物碎屑的细砂岩，少见互层混合沉积。滩砂厚度较薄，砂岩分选磨圆好，主要发育平行层理、低角度斜层理和交错层理，生物碎屑主要为双壳类化石碎片(图 3)。混积沙滩分布面积较大，呈较宽的条带状或席状，平行岸线分布。混积沙滩一般具弱的间断和原地混积特征。

3.2 混积砂坝亚相

混积砂坝亚相多分布于浅湖区，混合沉积物既有同层混合沉积物也有互层混合沉积物，两者所占比例差别不大。同层混合沉积物有灰质砂岩、砂质灰岩、含生物碎屑砂岩，其中灰质砂岩约占同层混合沉积物的 65%，其他两种约占 35%。灰质砂岩、含生物碎屑的砂岩呈灰色、绿灰色，细砂岩为主，其次为粉砂和中砂岩，一般发育平行层理、低角度斜层理、低角度交错层理和浪成沙纹层理，反韵律特征为

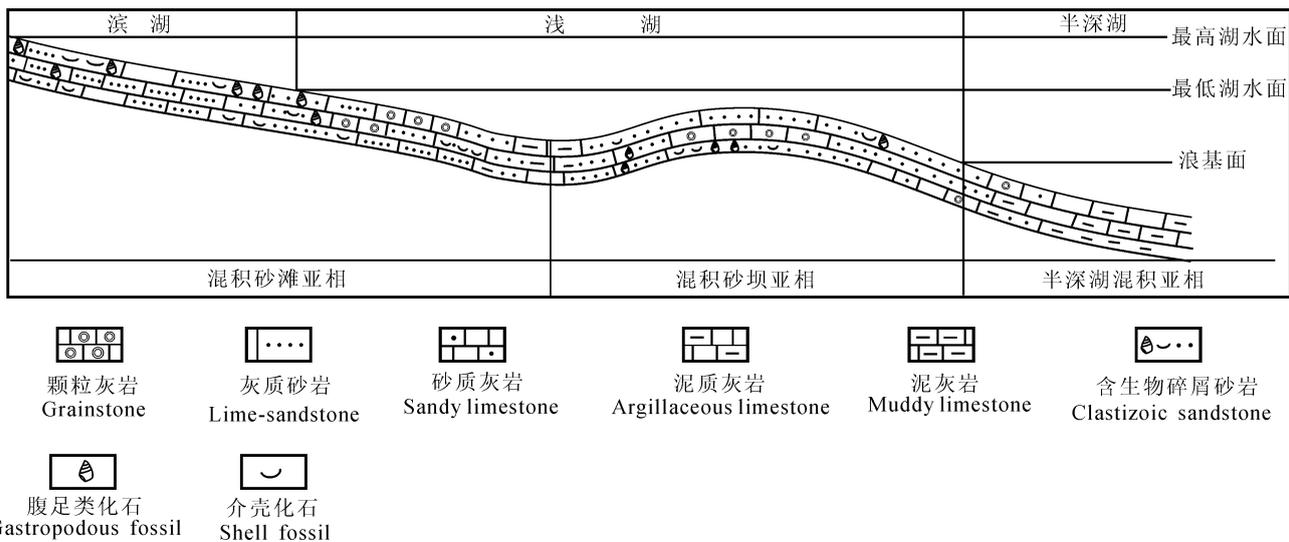


图 2 金家地区混合沉积模式图

Fig. 2 The profiles of sedimentary facies model of mixed sediments in Jinjia area

主,顶底与泥岩、灰岩等呈突变关系,属于较典型的砂坝沉积(图3、4)。互层混合沉积物主要为砂岩与颗粒灰岩、颗粒灰岩与含生物碎屑砂岩的互层,接触面一般为突变面。沙四上亚段沉积时期,虽然金家地区无大型物源注入,但整个湖泊的碎屑物质供给处于不断变化中,在湖盆碎屑物质供给量增大时,碎屑物质在波浪和沿岸流的作用下形成砂坝沉积;而湖盆碎屑物质供给量减少时,碳酸盐沉积占主导,形成颗粒灰岩层,或者含生物碎屑的砂岩层及砂质灰岩层等。同层和互层混积砂坝平行或者斜交与湖岸,厚5~10m不等,但灰岩层相对较薄,最厚为2m。

3.3 半深湖混积亚相

位于波基面以下水体较深部位,波浪较难影响

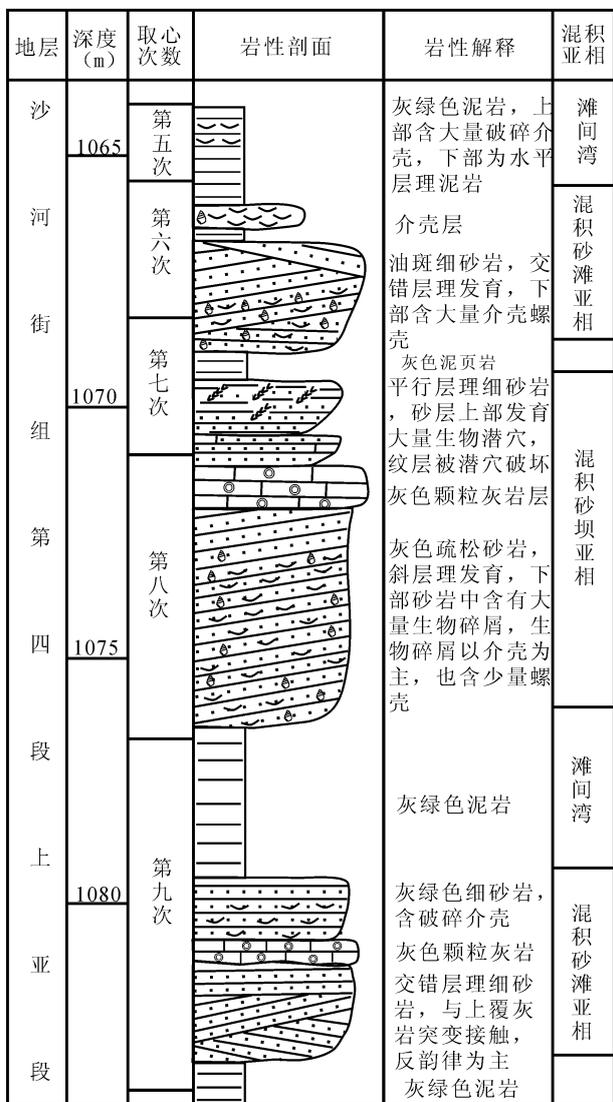


图3 金29井混合沉积剖面分析

Fig. 3 The profile analysis of mixed sediments in the Drill JIN-29

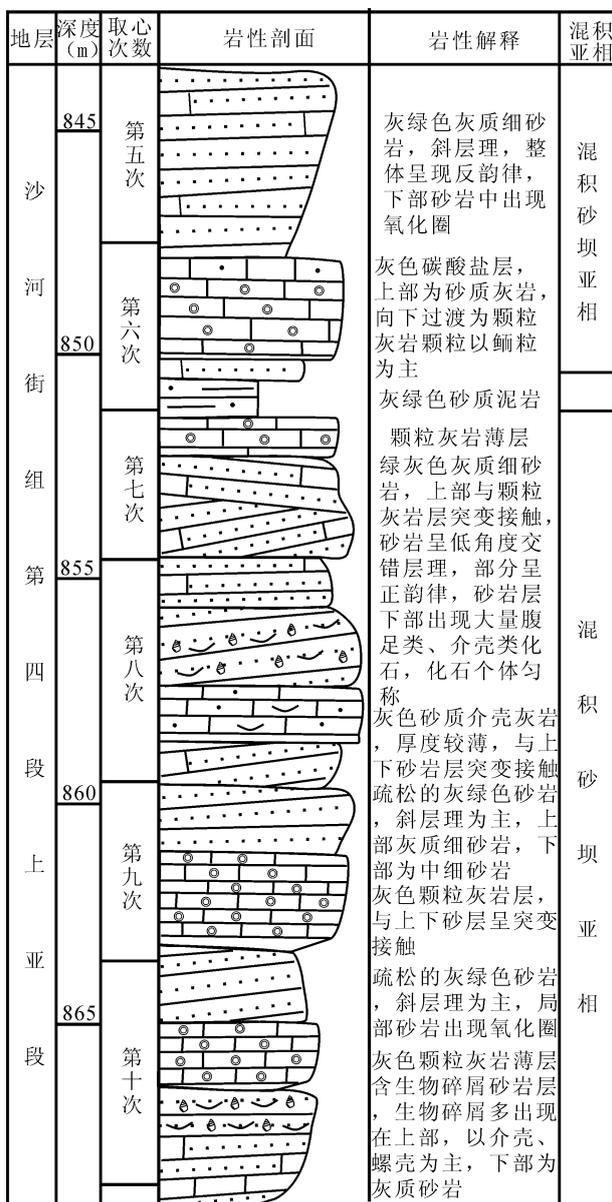


图4 金27井混合沉积剖面分析

Fig. 4 The profile analysis of mixed sediments in the Drill JIN-27

到沉积物表面,混合沉积类型一般是泥质灰岩及泥晶灰岩和泥岩的互层沉积,偶见薄层粉砂沉积(图5)。局部地区遭受风暴影响,风暴浪把灰岩或泥页岩搅碎再沉积可形成菊花状特殊混合沉积物。这种特殊混合沉积物一般具有较好的孔隙性,可以成为油气的储集体。

4 混合沉积形成机制

根据金家地区沙四上亚段混合沉积的特征,分布模式分析并结合当时的沉积背景,我们对该地区的混合沉积形成机制进行了探讨,主要控制因素有:

构造运动、碎屑物质供给量、湖平面变化等几方面。

4.1 构造运动

构造运动控制物源区和沉积区的分布和状态,也控制盆地类型和形态,这对碳酸盐沉积和混合沉积是很重要的(张锦泉,1989)。金家地区位于博兴洼陷的南斜坡,同时在大的地质背景上属于断陷湖盆东营凹陷南部缓斜坡的一部分,其基底岩层平缓单斜,其上覆岩层整体形态皆受基底岩层控制,缓斜坡向南一直延伸到鲁西隆起。鲁西隆起多出露较老的地层,剥蚀作用较弱。金家地区所处的缓斜坡带在沙四上亚段时期水体较浅,无大型物源注入,从而形成了宽阔沙滩及平行或斜交与湖岸的砂坝沉积。

4.2 碎屑物质供给量

碎屑物质的供给量直接影响了混合沉积的特征和规模,当碎屑物质供给量增大时即物理因素影响逐渐加大,化学因素影响将减弱,反之亦然(蔡进功,1994)。金家地区沙四上亚段沉积时期为开阔的滨浅湖沉积,南部缓斜坡无大型的物源注入,碎屑物质供给量受到了限制,化学因素影响增强,促使碳酸盐的生成。而此时博兴洼陷的西部发育了三角洲沉积体系,在湖浪及沿岸流的作用下三角洲砂质沉积物可以被搬运到博兴洼陷南部缓斜坡,为金家地区提供一定的碎屑物质。而这种碎屑物质的供给是间歇性的,受控于三角洲物源。当搬运到金家地区的碎屑物质量持续增加时碳酸盐沉积作用减弱,可以形成灰质砂岩沉积。此外,浅湖区波浪和湖流扰动强烈,水体循环好,透光性好,各种生物繁盛,特别是腹足类和双壳类等生物大量出现。在湖浪及湖流作用下,生物碎屑与陆源碎屑物质混杂沉积,形成含生物碎屑的砂岩层,或者生物碎屑直接大量沉积最终形成生物碎屑灰岩。

4.3 湖平面变化

湖平面的升降对陆源碎屑沉积区和碳酸盐沉积区相带迁移造成影响,同时也决定了混合沉积分布区带的迁移。沙四上亚段沉积时期东营凹陷南斜坡属于干旱气候,东营凹陷是一个水文条件较为封闭的湖泊,水体更替速度慢,湖平面处于持续上升阶段(宋明水,2005)。持续上升的湖平面使混合沉积物由上到下呈现泥质灰岩与泥岩互层—混积砂坝—混积沙滩序列。在平面上使各种混合沉积形成参差不齐的交错状。

5 结论

本文初步论述了缺乏物源注入的古湖泊滨岸带的混合沉积,并讨论了其形成机制,可以说研究区的混合沉积是多种混合沉积的一种类型,有更多的混合沉积类型及模式需要大家去进一步探讨,通过这次研究得出了以下结论。

(1) 金家地区古近系沙河街组第四段上亚段既有同层的混合沉积,又有互层的混合沉积。同层混合沉积物主要包括灰质砂岩、砂质灰岩、含生物碎屑的砂岩、泥质灰岩;互层混合沉积物主要包括砂岩与颗粒灰岩的互层沉积物、泥晶灰岩与泥岩的互层沉积物、颗粒灰岩与含生物碎屑砂岩的互层沉积物。

(2) 根据金家地区古近系沙河街组第四段上亚段混合沉积的环境、组成特征差异进一步把该区的

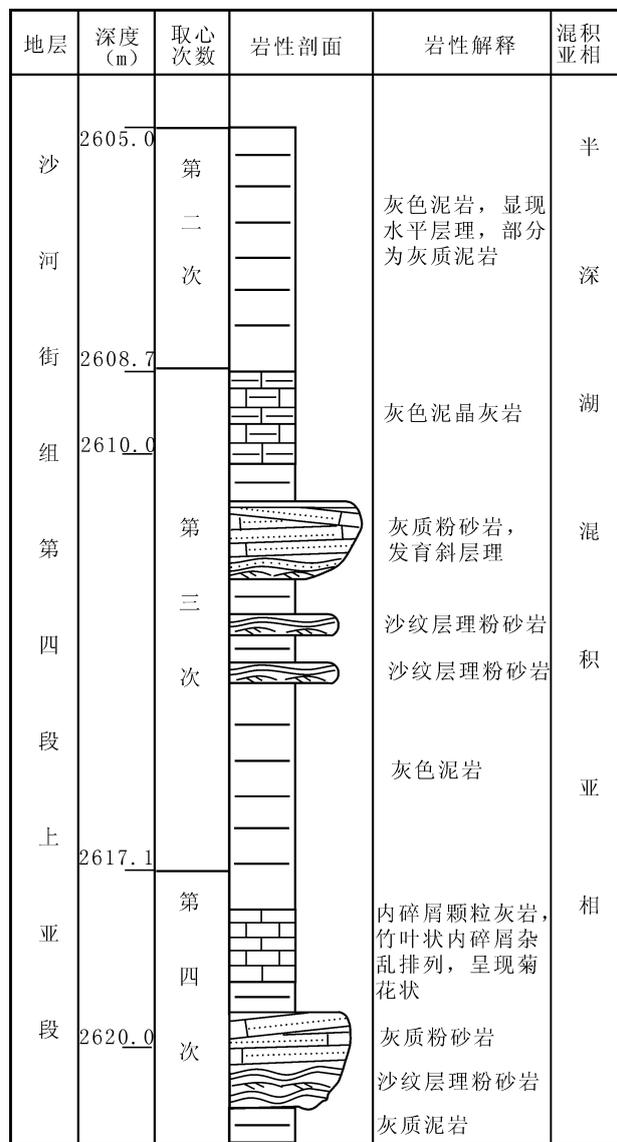


图 5 高 890 井混合沉积剖面分析

Fig. 5 The profile analysis of mixed sediments in the Drill GAO-890

混合沉积分为混积砂滩亚相、混积砂坝亚相、半深湖混积亚相。其中混积砂滩亚相主要发育含生物碎屑的细砂岩,少见互层混合沉积。混积砂坝亚相的沉积物既有同层混合沉积物也有互层混合沉积物。半深湖混合沉积一般是泥质灰岩沉积及泥晶灰岩和泥岩的互层沉积物,有时可以发现风暴浪作用产生的混合沉积物。

(3)金家地区古近系沙河街组第四段上亚段时期属于断陷湖盆东营凹陷南部缓斜坡的一部分,平缓的单斜地形为滨浅湖的形成提供了地形条件;滨浅湖区缺乏大型物源注入,此时其西部的三角洲砂体在湖流的作用下间歇性的为该区提供了一定的碎屑物质,合适的水体环境促使生物的繁盛,在这一系列的因素控制下研究区形成了大量的混合沉积物;湖平面的升降则影响了混合沉积区带的迁移。

参 考 文 献 / References

- 蔡进功,李从先. 1994. 内蒙古西南部石炭系碎屑岩—碳酸盐岩混合沉积特征. 石油天然气地质, 15(1):80~86.
- 郭福生. 2004. 浙江江山藕塘底组陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征及其构造意义. 沉积学报, 22(1):136~141
- 江茂生,沙庆安. 1995. 碳酸盐与陆源碎屑混合沉积体系研究进展.

- 地球科学进展, 10(6):551~554.
- 江茂生,沙庆安,刘敏. 1996. 华北地台下中寒武统碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东张夏地区为例. 沉积学报, 14(增刊):65~74.
- 李祥辉,刘文均,郑荣才. 1997. 龙门山地区泥盆纪碳酸盐与硅质碎屑的混积相与混积机理. 岩相古地理, 17(3):1~10.
- 沙庆安. 2001. 混合沉积和混积岩的讨论. 古地理学报, 3(3):63~66.
- 宋明水. 2005. 东营凹陷南斜坡沙四段沉积环境的地球化学特征. 矿物岩石, 25(1):67~73.
- 张锦泉,叶红专. 1989. 论碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积. 成都地质学院学报, 16(2):87~92.
- 张雄华. 2003. 雪峰古陆边缘上石炭统陆源碎屑和碳酸盐混合沉积. 地层学杂志, 27(1):54~58.
- Aqrabi A A M. 1996. Carbonate—siliciclastic sediments of the Upper Cretaceous (Khasib, Tanuma and sa'di Formations) of the Mesopotamian Basin. Marine and Petroleum Geology, 13(7):781~790.
- Halfar J, Ingle J C, Godinez-Orta L. 2004. Modern non-tropical mixed carbonate—siliciclastic sediments and environments of the southwestern Gulf of California, Mexico. Sedimentary Geology, 165:93~115.
- Mount J F. 1984. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments. Geology, 12: 432~435.
- Parcell W C, Williams M K. 2005. Mixed sediment deposition in a retro-arc foreland basin; Lower Ellis Group (M. Jurassic), Wyoming and Montana U. S. A. Sedimentary Geology, 177:175~194.

Mixed Siliciclastic—carbonate Sediment in Rift Lacustrine Basin —a Case on the Upper Part of the Fourth Member of the Eogene Shahejie Formation in Jinjia Area, Dongying Depression

ZHANG Jinliang^{1,2)}, SI Xueqiang¹⁾

1) College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266100;

2) Center for Petroleum Exploration and Development Engineering of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266510

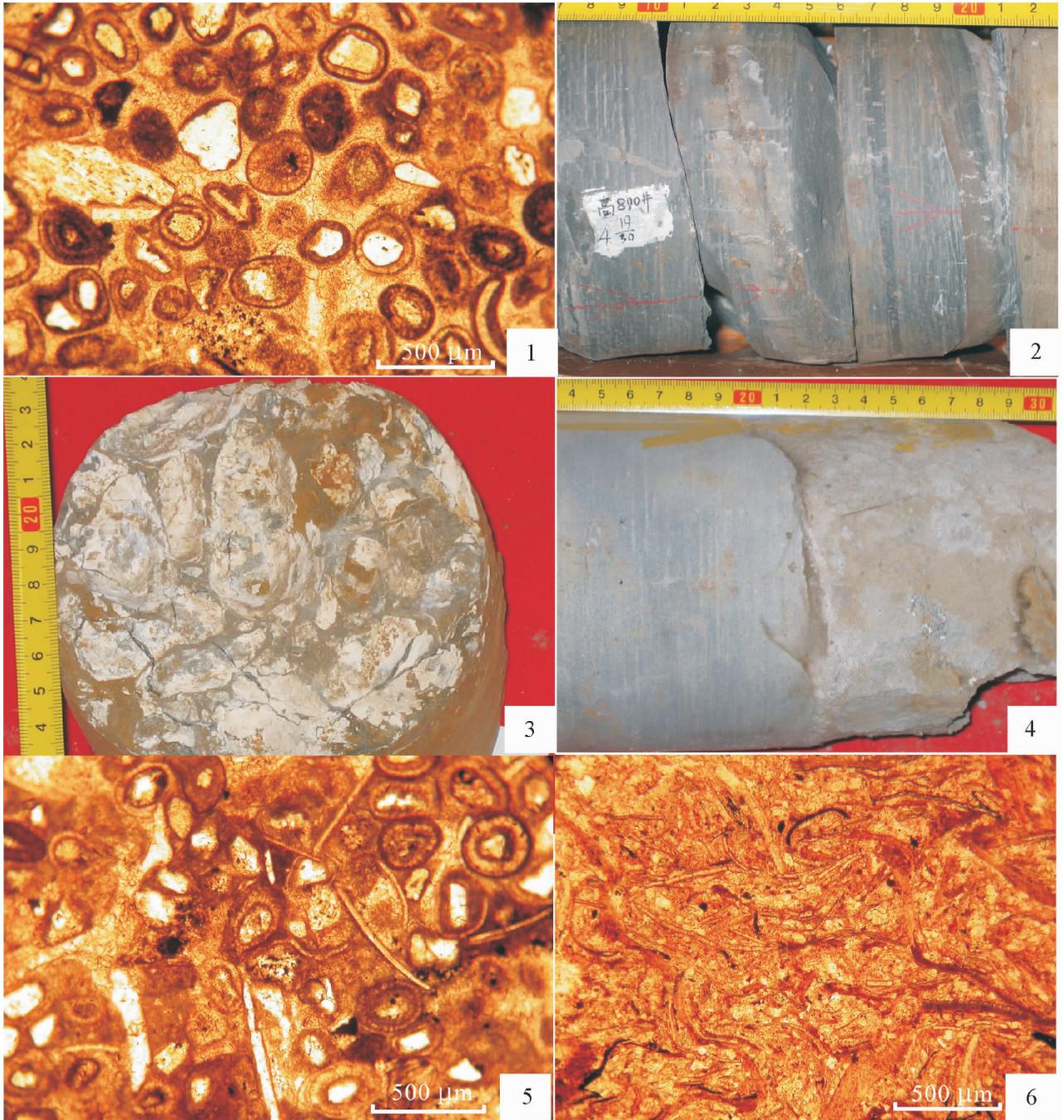
Abstract

The mixed siliciclastic—carbonate deposit is a kind of peculiar sedimentary type, and the research about it is too little. The upper part of the 4th member of the Eogene Shahejie Formation in Jinjia area, Dongying depression, is a suite of lacustrine mixed siliciclastic—carbonate deposit. Based on recognition of rock core and studying of thin section under microscope, the mixed deposit in the study area can be divided into three sub-facies, and the mixed sediments contain both syn-bed type (lime—sandstone, sandy limestone, argillaceous limestone, et al.) and interbedded type. The mixed sedimentation was controlled by tectonism, material supply, lacustrine level change and many other factors.

Key words: Dongying depression; mixed sediment; siliciclastics; carbonate; rift lacustrine basin

张金亮等:断陷湖盆碳酸盐与陆源碎屑混合沉积

图版 I



1. 砂质灰岩(包粒石灰岩), 金 27 井, 847.80m, 100 倍;
2. 泥质灰岩, 高 890 井, 2621.6m;
3. 含生物碎屑砂岩, 金 27 井, 838.60m;
4. 灰岩和砂岩突变接触界面, 金 27 井, 860.20m;
5. 颗粒灰岩, 金 27 井, 847.6m, 100 倍;
6. 生物碎屑灰岩(介形灰岩), 金 29 井, 1065.10m, 100 倍。

1. Sandy limestone (coated limestone), Drill Jin-27 (depth, 847.80m);
2. Argillaceous limestone, Drill Gao-890 (depth, 2621.6m);
3. Clastozoic sandstone, Drill Jin-27 (depth, 838.60m);
4. Contact surface of sandstone and limestone, Drill Jin-27 (depth, 860.20m);
5. Grainstone, Drill Jin-27 (depth, 847.60m);
6. Bioclastic limestone (ostracoda limestone), Drill Jin-29 (depth, 1065.10m)。